

# 다중 전파 환경에서의 전자전 방향탐지 시스템 성능향상에 관한 연구

최선호\* · 김영길\*\*

\*(주)빅텍 · \*\*아주대학교

## A Study on Performance Improvement of Electronic Warfare Direction Finding System in Multi Radio Environment

Sun-ho Choi\* · Young-kil Kim\*\*

\*Victek · \*\*Ajou University

E-mail : sunlake@victek.co.kr

### 요 약

현대의 전자전 전장환경에서는 첨단 상용 통신기술 (CDMA, LTE, Wi-Fi 등)의 비약적인 발전과 사용주파수 대역의 확장 등의 영향으로 전파 환경이 고도화되어 합정용 전자전지원 시스템의 성능에 영향을 주고 있다. 본 논문에서는 기존 합정용 전자전지원 시스템의 한계를 고찰하고 방향탐지 알고리즘 시뮬레이션 결과를 바탕으로 고도화된 전파환경에서 전자전 방향탐지 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다.

### ABSTRACT

High end commercial communication system, such as contemporary mobile technology (CDMA, LTE, Wi-Fi, etc.) and extension of frequency band, may affect the performance of the shipborne electronic support measurement system in modern battle field. In this paper, we suggest a way to improve the performance of electronic warfare system based on direction finding algorithm simulation after discussing the limits of traditional system.

키워드 : 전자전, 전자전지원, 방향탐지

EW, ESM, Direction Finding

### 1. 서 론

합정에 적용되는 전자전지원 시스템은 적의 레이더 또는 미사일에서 방사되는 펄스 신호를 수신하여 신속하고 정확하게 신호의 제원 (Frequency, Pulse width, Angle of Arrival 등)을 측정하여 분석하고 식별하는 시스템으로 일반적으로 광대역을 한 번에 수신하는 구조로 개발되고 있다. 전자전지원 시스템은 주파수 대역을 기준으로 COMINT (Communication Intelligence)와 ELINT (Electronic Intelligence)로 구분되고 COMINT는 CW (Continuous Wave) 신호 형태의 통신 신호를 주로 측정하고 ELINT는 펄스 형태의 레이더 신호를 주로 측정하는 시스템으로 특화되어 사용되고 있다. 현대의 전자전 전장 환경에서는 상용 첨단 기기 (CDMA, LTE, Wi-Fi 등)의 비약적인 발전과 사용주파수 대역의 확장 등의 영향으로 전파 환경이 고도화되어 UHF 대

역의 일부를 측정하는 전자전지원 시스템에 영향을 주기 시작하여 측정에 제한을 받고 있다. 전자전지원 시스템은 레이더에서 송신되는 신호를 수신하는 특성 상 시분할 된 펄스 신호를 수 GHz의 광대역 대역폭을 한 번에 수신하는 IFM (Instantaneous Frequency Measurement) 방식으로 처리하여 레이더 시스템 보다 빠르게 적을 탐지하는 개념으로 개발되어 왔기 때문에 순시처리 주파수 대역폭 내에서 CW 신호가 수신되면 일반적으로 신호의 세기가 펄스신호 보다 크기 때문에 CW 신호에 묻혀 측정 및 탐지가 제한되어 전체적으로 시스템의 성능 및 안정성이 크게 저하될 수 있다. 본 논문에서는 상기된 제한사항을 극복하기 위해 통신 대역 방향탐지 알고리즘을 이용하여 주파수 대역의 확장과 안테나 배열 구조 및 방향탐지 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통해 기존 합정용 전자전 지원 시스템의 한계를 극복하고 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다.

## II. 본 론

### 2.1 광대역 순시 처리

전자전지원 시스템에서 사용되는 방향탐지 기법은 회전방탐, 진폭비교, 위상비교, 진폭-위상비교 복합방식 등이 있고 각각은 서로 다른 장단점을 보유한다. 현재 많은 시스템에서 진폭과 위상을 이용하여 방향을 탐지하고 있으며 일반적으로 위상을 이용한 시스템의 정확도가 더 좋은 것으로 알려져 있다.

기존의 시스템은 진폭비교 방향탐지 기법을 사용하고 광대역(수 GHz 대역폭)의 순시 처리를 위한 수신기와 DLVA(Detector Log Video Amplifier) 소자를 이용한 펄스 신호의 세기 및 펄스 폭을 측정하는 구조로 설계되어 있다. DLVA는 시간축에서 입력신호를 전압의 크기로 변환해 주는 소자이며 순시에 입력되는 레이더 신호는 오직 한 개라고 가정 하에 측정하기 때문에 다중 신호에 취약한 단점을 보유하고 있다. 그림 1과 같이 3개의 레이더가 존재하는 경우 B신호의 펄스는 C신호의 펄스에 중첩되어 구별이 어렵다. 그림 2는 신호가 중첩되었을 경우의 예시를 보여주며 이런 경우는 B신호는 탐지가 되지 않을 가능성이 높다. [1]

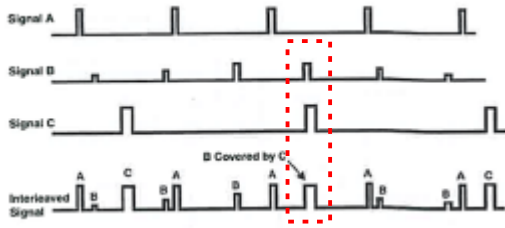


그림 1. 다중신호 환경의 레이더 신호

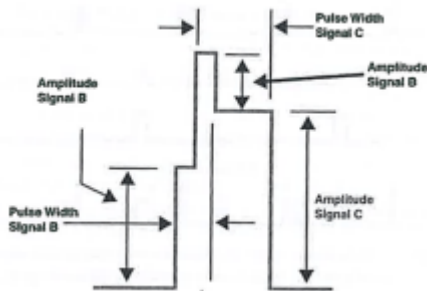


그림 2. 다중신호환경의 신호 중첩 예시

### 2.2 방향탐지 알고리즘

방향탐지 알고리즘은 진폭비교, 위상비교, TDOA (Time Difference of Arrival), FDOA (Frequency Difference of Arrival) 등의 기법들이 있다.

위상비교 방향탐지는 입사 신호의 도래 각도에

따라 두 안테나에 수신되는 신호의 위상 차이를 이용하여 각도를 계산하는 원리이며 그림 4는 위상비교 방향탐지 원리를 설명하고 있다.

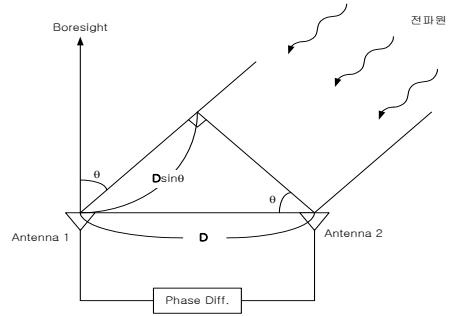


그림 3. 위상비교 방향탐지 원리

두 안테나에서 측정되는 신호의 상대적인 위상차는 식(1)과 같다. [2]

$$\phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \sin\theta \quad (1)$$

본 논문에서는 비교적 정확도가 높다고 알려진 위상비교 방향탐지 기법 중 상관벡터를 이용한 방향탐지 기법을 사용한다. 상관벡터 방향탐지 기법은 각 안테나 소자에서 수신되는 신호의 세기와 위상정보는 복소전압벡터(Complex Voltage Vector)로 변환하여 전달된다.  $V_{Mi}$ 를  $i$ 번째 채널에서 측정된 복소전압벡터라 하면, 각 채널에서 측정된 복소전압벡터를 데이터베이스에 저장된 모든 방향에 대한 복소전압벡터값들과 비교하여 상관관계수가 가장 클 때의 LOB(Line Of Bearing)를 신호원의 도래각(AOA : Angle Of Arrival)으로 추정하게 된다.

$$R_i = \frac{\sum_{i=1}^N V_{Mi} \cdot V_{Ri}^*}{\left[ \left( \sum_{i=1}^N |V_{Mi}|^2 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^N |V_{Ri}^*|^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (2)$$

식 (2)는 상관계수를 연산하여 최대값을 계산하고 최대 값을 기준으로 전후의 값을 이용하여 비교하여 최종 방위 값을 연산할 수 있다. [3]

## III. 방향탐지 성능 예측

### 3.1 조건

방향탐지 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통해 방향탐지 장치 안테나 배열 구조 및 사용 가능 주파수에 대해 살펴본다. 방향탐지 정확도에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 제안 시스템의 성능을 예측한다.

알고리즘의 시뮬레이션을 위한 조건은 아래와 같다.

- 알고리즘 : Correlation Vector DF
- 측정 범위 : Azimuth
- 안테나 수 : 5개
- 안테나 배열 : 원형 배열
- 안테나 반지름 : 0.12 m
- 측정 위상오차 : Gaussian  $\pm 3\sigma$   $30^\circ$
- 사용 툴 : MatLAB

### 3.2 시뮬레이션 결과

그림 4와 5에서 방위각 변화에 따른 위상차의 분포를 보면 주파수가 낮으면 위상차의 변화량이 적고 주파수가 높을수록 위상차의 변화량이 많은 것을 확인할 수 있다. 위상 측정 오차를 Gaussian Random Error  $\pm 3\sigma$   $30^\circ$ 로 적용하여 시뮬레이션 한 결과  $D/\lambda$  값이 클 경우 정확한 방위를 찾지 못하는 모호성이 발생하여 원하는 방향탐지 정확도를 얻을 수 없음을 확인하였다.

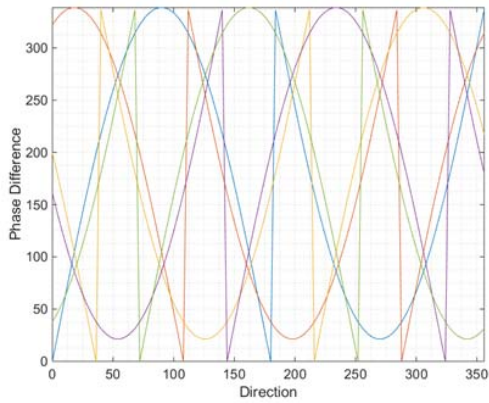


그림 4. 방위각에 따른 위상차 분포 ( $D/\lambda = 0.94$ )

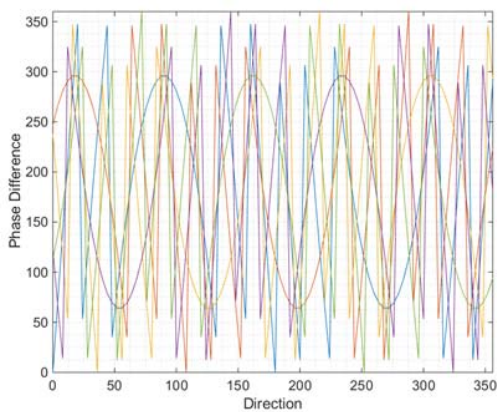


그림 5. 방위각에 따른 위상차 분포 ( $D/\lambda = 2.82$ )

그림 6은 안테나 이격거리  $D$ 와 파장  $\lambda$ 와의 관계인  $D/\lambda$ 에 따른 방향탐지 정확도를 10회 측정하여 결과를 표시하였고  $D/\lambda = 2.5$  이상에서는 모호성이 발생하여 방향탐지 정확도가 급격히 나빠지는 것을 확인할 수 있다.

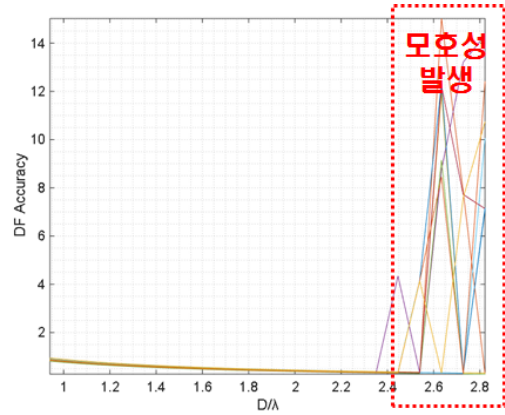


그림 6.  $D/\lambda$ 에 따른 방향탐지 정확도

## IV. 제안 시스템

### 4.1 시스템 개요

함정에 탑재되어 운용되는 기존의 전자전장비는 S~Ka Band 까지 넓은 대역과 높은 주파수 대역을 탐지하는 지향성 안테나를 이용한 원형 배열로 설계되어 있다. 제안 시스템은 일부 대역인 S/C Band를 등방성 안테나를 이용하여 방향탐지 및 신호처리를 수행하는 시스템으로 기존의 통신대역의 전자전장비의 주파수 대역을 확장하는 개념의 시스템이다.

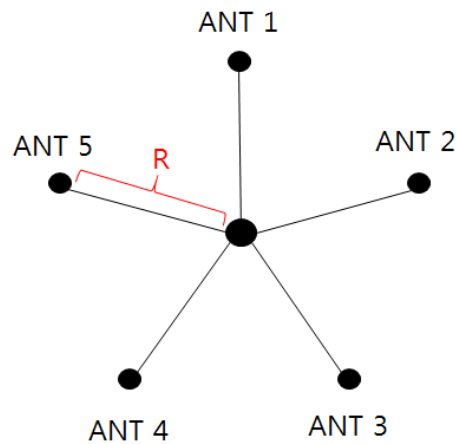


그림 7. 제안 안테나 배열 구조

시뮬레이션에서 모델링된 안테나 배열은 그림 7과 같은 형태의 원형 배열 안테나 구조이다.

안테나 Element 들과 중심까지의 거리를 반지름  $R$ 이라 할 때 방향탐지 정확도를 만족하는 안테나의 이격거리는  $R < 0.12m$  라는 사실을 시뮬레이션 결과로부터 도출할 수 있다.

안테나 간격을  $R < 0.12m$ 로 한다면  $D/\lambda < 2.5$ 인 주파수 대역은 S, C Band가 되며 방향탐지 정확도를 만족할 수 있다. 그러나 실제 안테나 배열 반지름을 0.12이하로 줄이는 것은 배열 구조에 따른 전파의 간섭과 기계적 구조 설계의 문제를 함께 고려할 필요가 있으며 시스템 성능의 안정성을 위해서 S Band로 제한하는 것이 효율적이다.

S Band의 신호처리는 그림 8과 같이 Giga Sampling이 가능한 고속 A/D Converter를 이용한 디지털 신호처리 방식을 사용하면 시분할 방식의 한계를 해결할 수 있는 시스템을 설계할 수 있다.

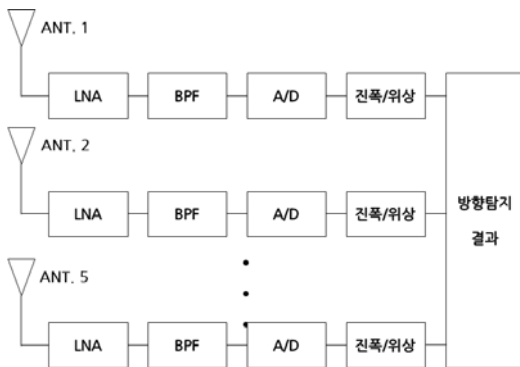


그림 8. 고속 ADC를 이용한 디지털 신호처리

## V. 결 론

마이크로 웨이브 대역의 시분할 방식의 측정 문제점을 해결하기 위해 통신대역의 방향탐지 기법을 이용하여 시뮬레이션 한 결과  $D/\lambda < 2.5$ 일 경우 전체 방향탐지 정확도는 2도 RMS (Root Mean Square) 이하로 비교적 높은 방향탐지 정확도를 얻을 수 있으며 고속 ADC(Analog-Digital Converter)를 사용한 진폭/위상 측정 시스템을 이용하면 시분할 방식 처리의 문제점을 동시에 해결할 수 있다. 또한, 방향 탐지 정확도를 만족하는 안테나 배열 구조와 이격 거리를 확인하였고 실제 시스템에 적용 가능한 수준의 결과를 확인할 수 있었다. 그러나 실제 장치에 적용하기 위해서는 여러 가지 해결해야 할 문제 들이 있다. 예를 들어 적용 가능한 등방성 안테나 소자의 선택, 위상측정을 위한 다채널 수신기 구조 설계와 GSPS (Giga Sampling Per Second) ADC를 이용한 신호처리 기술들을 고려해야 한다. 또한 기존 시스템에 적용하기 위한 구조 및 설치 환경의 영향성 등을 고려한 개발이 필요하다.

## 참고문헌

[1] David Adamy, EW101 : A First Course in Electronic Warfare, Artech House, pp. 82~86, 2001

[2] Richard Poisel, Introduction to Communication Electronic Warfare System, Artech House, pp. 331~347, 2002

[3] R. Stephen Smith, "Correlative Vector Direction Finding", Watkins-Johnson. co.,



최선호(Sun-ho Choi)

약력

1999년 호서대학교 제어계측공학과 학사

2001~현재 ㈜빅텍 기술연구소

2015~현재 아주대학교 IT융합대학원 석사

※관심분야: 전자전 시스템, 디지털 신호처리



김영길(Young-kil Kim)

약력

1978년 고려대학교 전자공학과 학사

1980년 한국과학기술원 석사

1984년 ENST(프랑스) 박사

1984~현재 아주대 전자공학과 교수

※관심분야: 임베디드 시스템, 초음파 의료기기,

Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform